

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КВАНТОВОЙ ХРОМОДИНАМИКИ ПРИ ЭНЕРГИЯХ, ДОСТУПНЫХ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТА PANDA В ЕВРОПЕЙСКОМ ЦЕНТРЕ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ИОНОВ И АНТИПРОТОНОВ

---

МГУ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ, КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ГРУППА 209(М)

СТУДЕНТ

Р.Р. ЛАЗУТКИН

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

Н.Б. СКАЧКОВ

# Содержание:

---

- Предыстория: GSI
- FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research)
- PANDA (AntiProton ANnihilation at DArmstadt)
- Моделирование процессов
- Сигнальные события
- Фоновые события
- Разделение событий

# GSI (Центр по изучению тяжёлых ионов имени Гельмгольца)

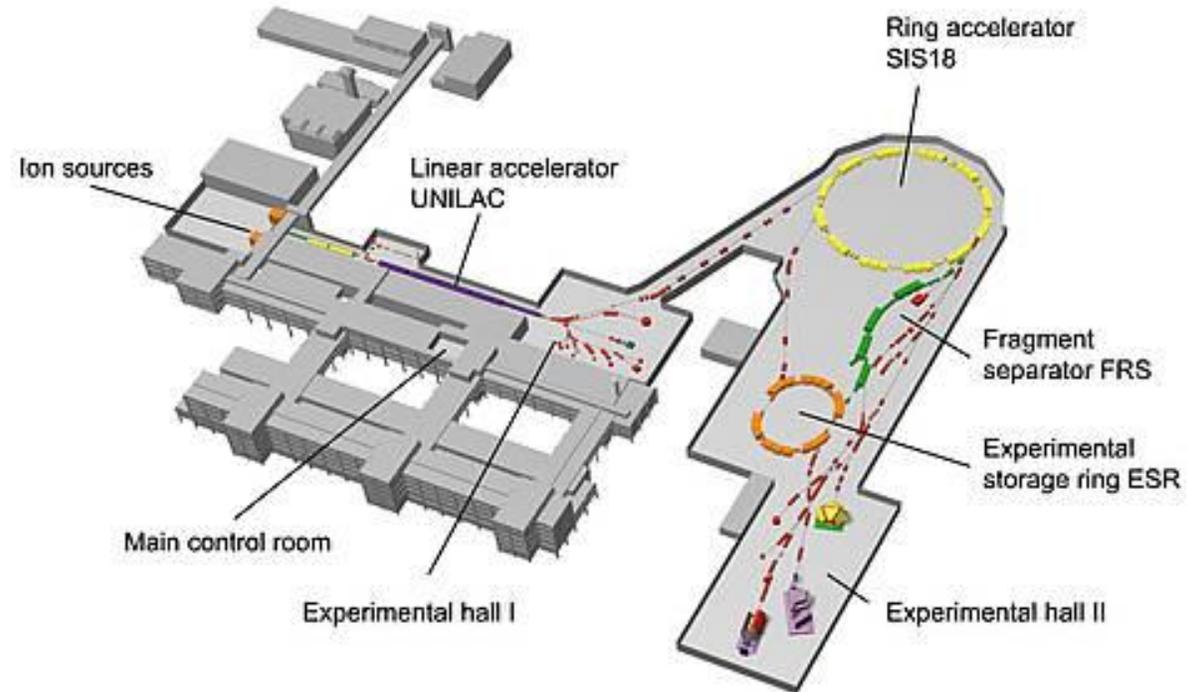
---



Виксхаузен, пригороде Дармштадта, Франкфурт, Германия, 1969.

# Схема GSI

---



# Цели GSI

---

- ядерная физика и физика частиц (синтез тяжёлых элементов (моделирование условий внутри звёзд и при их взрывах), изучение ядерной материи, кварк-глюонной плазмы (моделирование условий Большого Взрыва, взрыв сверхновых, условия нейтронной звезды))
- атомная физика (например, квантовая электродинамика - изучение водородоподобных атомов с единственным электроном на внешней оболочке)
- физика плазмы (образование горячей плазмы при столкновении пучка с мишенью) (моделирование условий внутри звёзд и больших планет)
- биофизика и медицинская физика (изучение влияния ионов на клетки, терапия опухолей)
- материаловедение (модифицирование материалов, создание мембран)

# FAIR

---

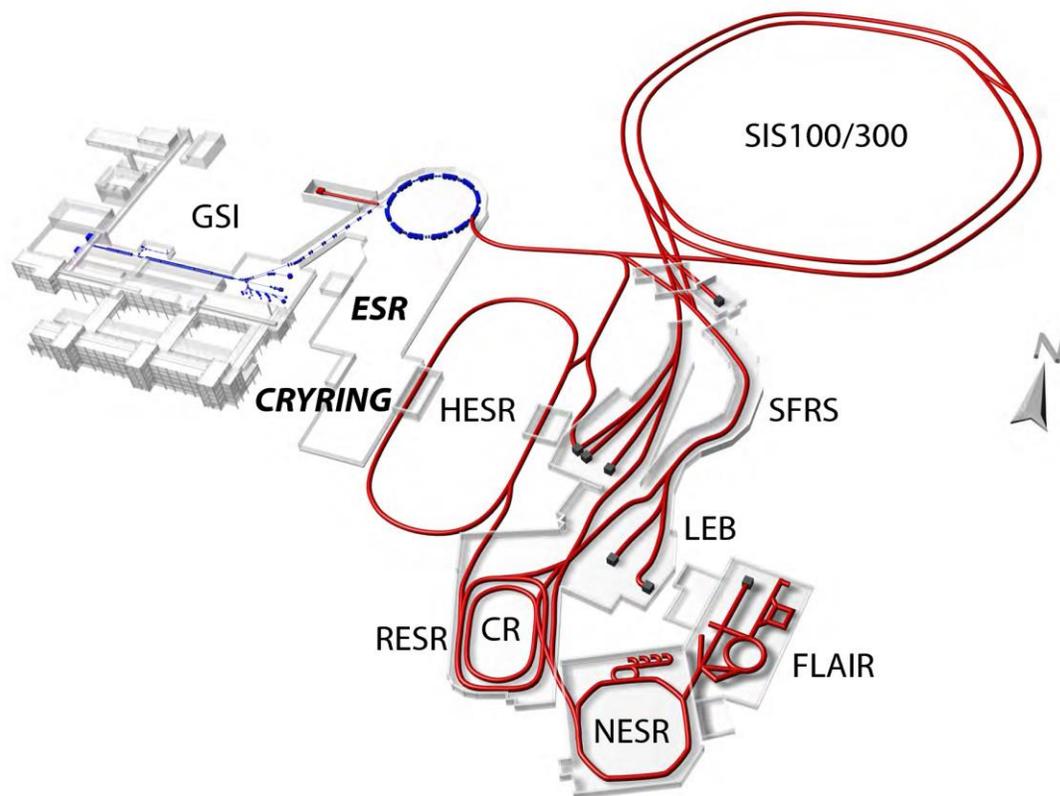


Facility for Antiproton and Ion Research

Основан 4 октября 2010 года.

Ориентировочная дата запуска - 2022-2025 год.

# Схема FAIR



Ускорители:

SIS100

SIS300 (планируется)

Накопительные кольца:

CR (The Collector Ring)

RESR (The Recycled Experimental Storage Ring)

NESR (The New Experimental Storage Ring)

HESR (The High-Energy Storage Ring)

# Эксперименты и цели FAIR

---

APPA Physics - Atomic, Plasma Physics and Applications

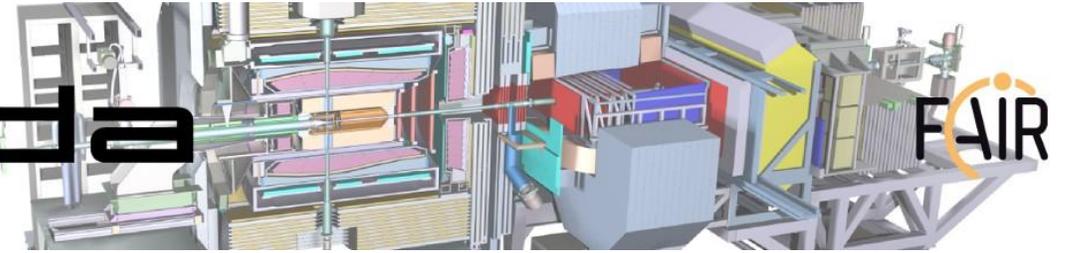
CBM - Compressed Baryonic Matter

NUSTAR Physics - Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions

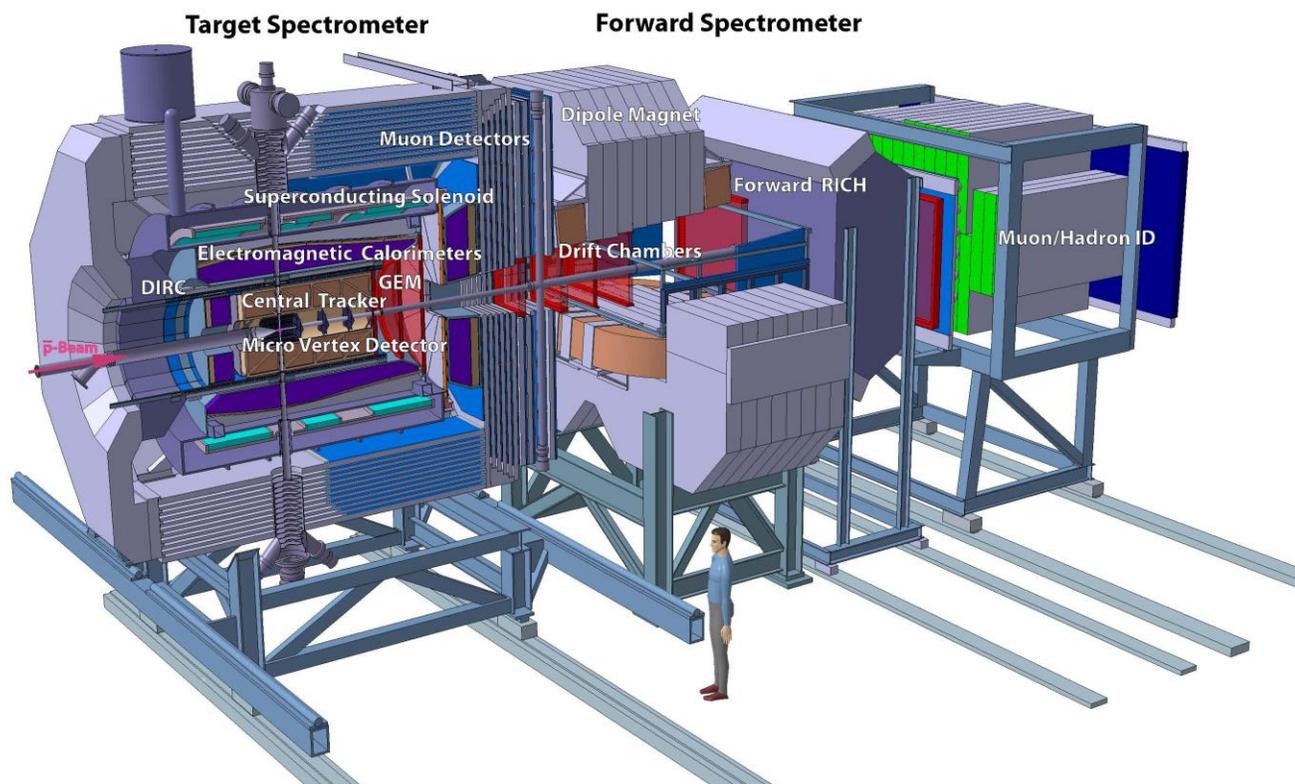
PANDA - Antiproton Annihilation at Darmstadt

- изучение структуры ядра и ядерная астрофизика, пучки стабильных ионов и короткоживущих ядер
- структура адронов, квантовая хромодинамика
- фазовая диаграмма ядерной материи и кварк-глюонная плазма, пучок тяжёлых ионов
- физика сверхплотной плазмы, интенсивные импульсов пучки тяжёлых ионов, петаваттный лазер
- атомная физика, квантовая электродинамика, сверхсильные электромагнитные поля, физика тяжёлых ионов
- прикладные исследования для материаловедения и радиобиологии

PANDA



# Схема PANDA



Главные цели при проектировании установки PANDA - добиться полного углового покрытия области взаимодействия, производительность, универсальность снятия данных и отбора событий.

Детектор разделён на 2 части - измеряющий большие углы спектрометр мишени, окружающий область взаимодействия, и передний спектрометр для малых углов. В каждой части детектора присутствуют трекары, идентификаторы заряженных частиц, электромагнитные калориметры и мюонные детекторы.

# Цели PANDA

---

- Адронная спектроскопия (поиск адронов с ведущим вкладом глюонов (глюболы, гибриды), спектроскопия чармониумов, измерение барионных спектров)
- Адроны в материи (изучение адронов, погруженных в адронную материю, измерение сечений продуктов распада  $J/\psi$  и  $D$ -мезонов в аннигиляции антипротонов на ядерных мишенях)
- Структура ядра (обобщённые партонные распределения (GPD))
- Гиперядра (ядра, в которых нижний или верхний валентные кварки замещены странным кварком)

# Значение мюонных измерений

---

Изучение рождения мюонов необходимо для:

- - Изучение резонансов ( $J/\psi$ )
- - Получения информации о партонных функциях распределения (PDF)
- - Получения информации о  $k_T$  эффекте (Ферми-движение партонов с поперечным импульсом внутри нуклонов)

# Цель работы

---

Цель работы – моделирование рождения мюонов в протон-антипротонных столкновениях при энергиях PANDA ( $<15$  GeV) для идеального детектора:

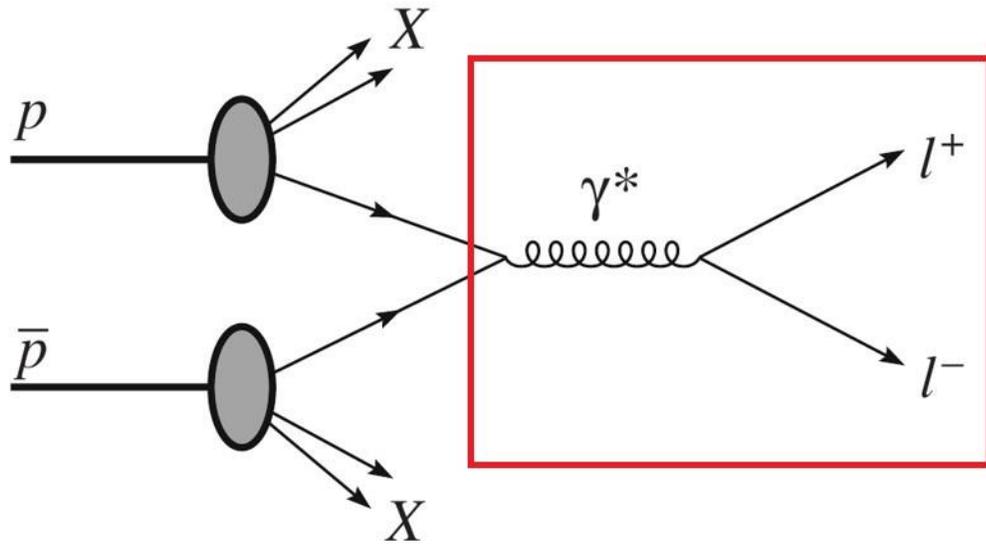
- построение распределений кинематических переменных
- разделение частиц по процессам.

Используемое программное обеспечение:

- Генератор Pythia 8.2 (8223)
- PDF (партонные функции распределения) CTEQ6L
- Обработка данных Root 6 (root-6.06.08)

# Сигнал: фотон

---



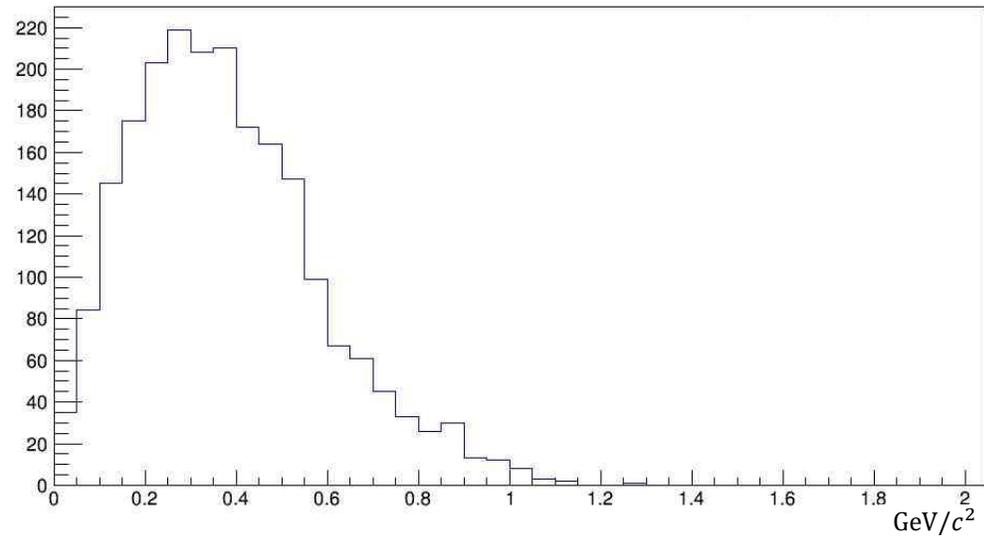
Рождение пары лептон-антилептон (мюоны) из кварка-антикварка через фотон, процесс MMT-DY.

Распределения для частиц противоположных зарядов аналогичны друг другу.

Выходящие частицы можно разделить на медленные и быстрые.

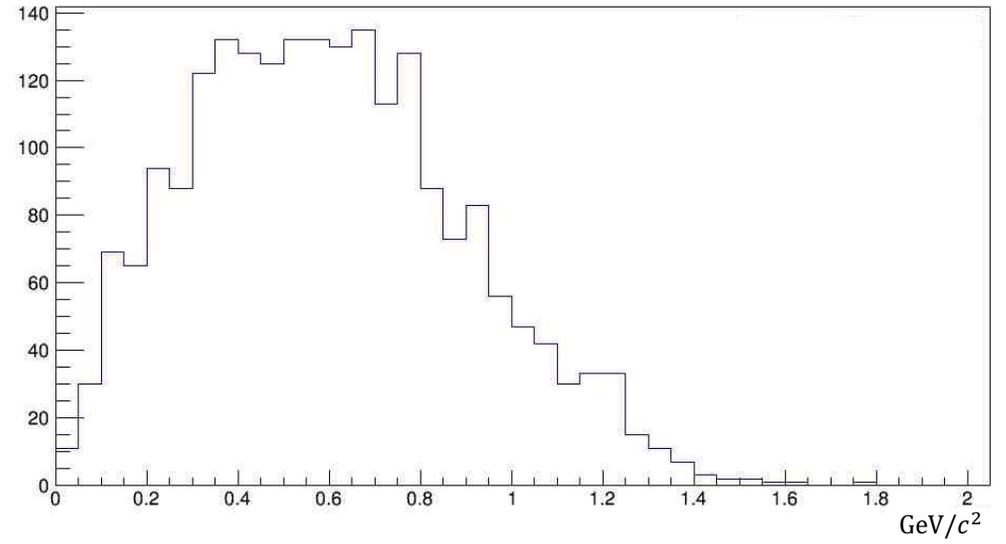
# Мюоны: фотон

## Медленные частицы



## Поперечный импульс

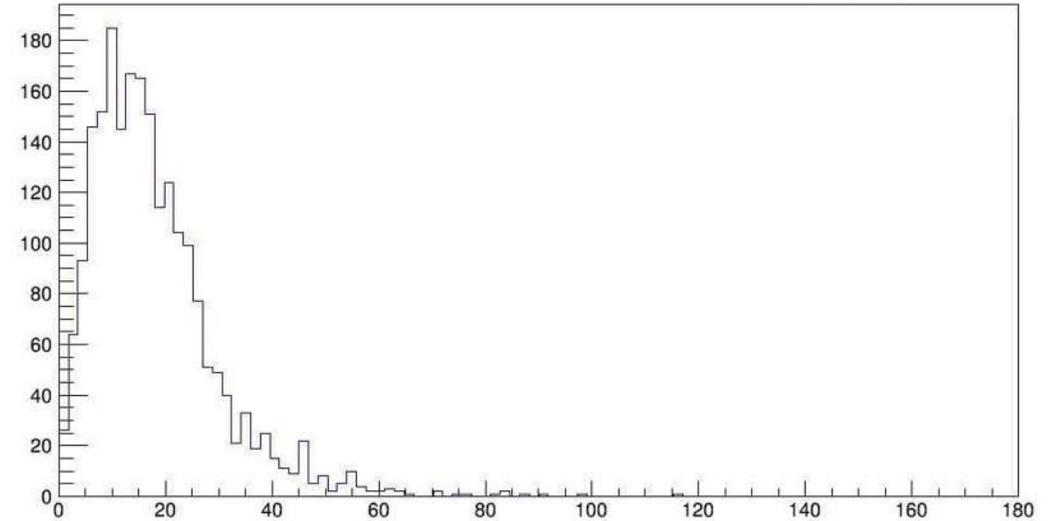
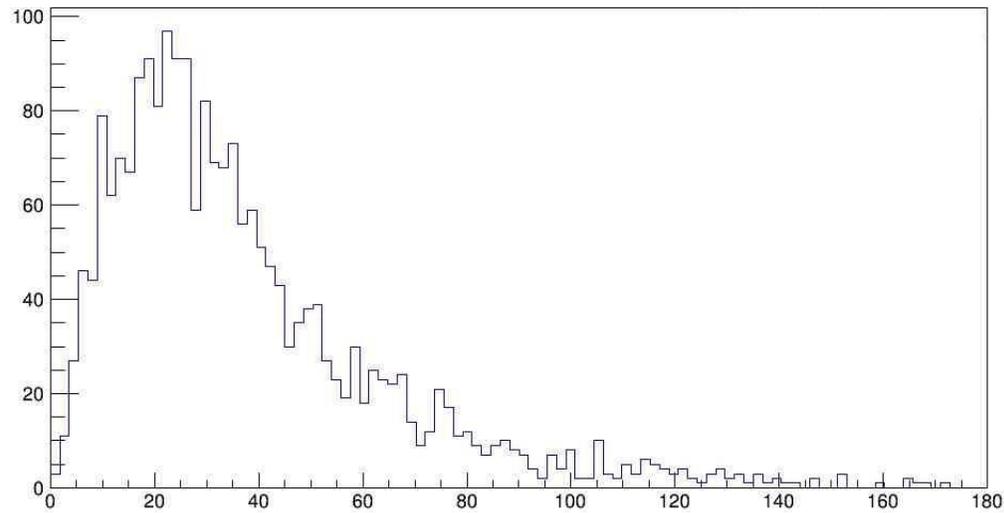
## Быстрые частицы



## Медленные частицы

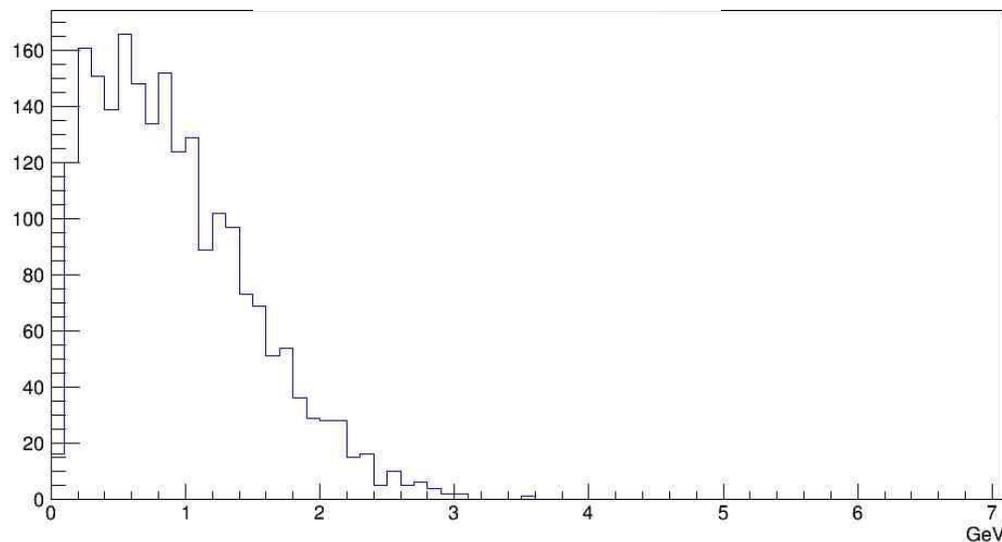
## Полярный угол

## Быстрые частицы

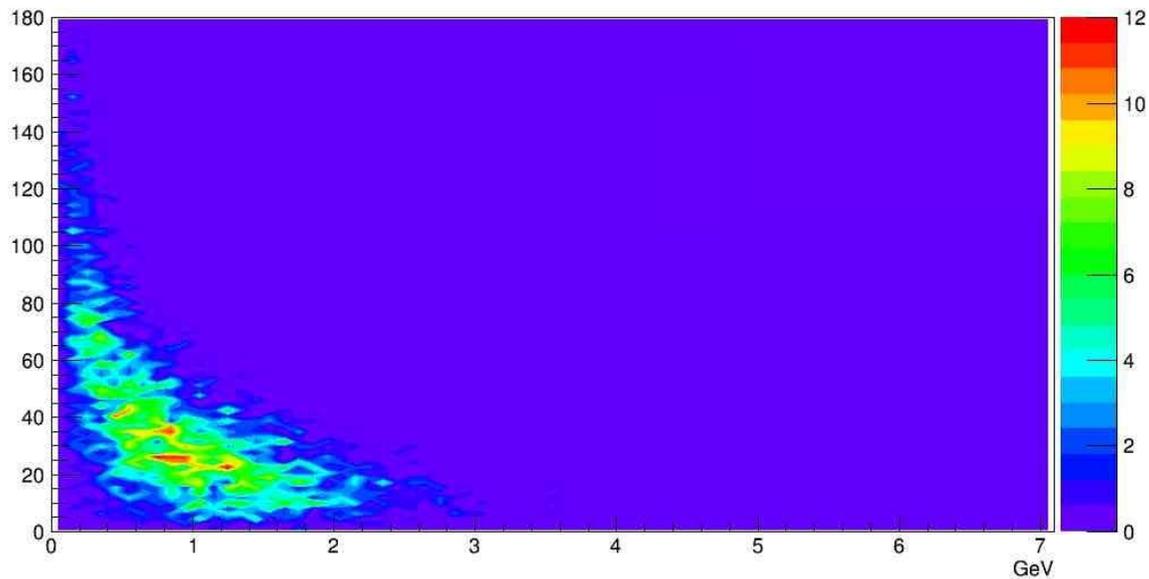


# Мюоны: фотон

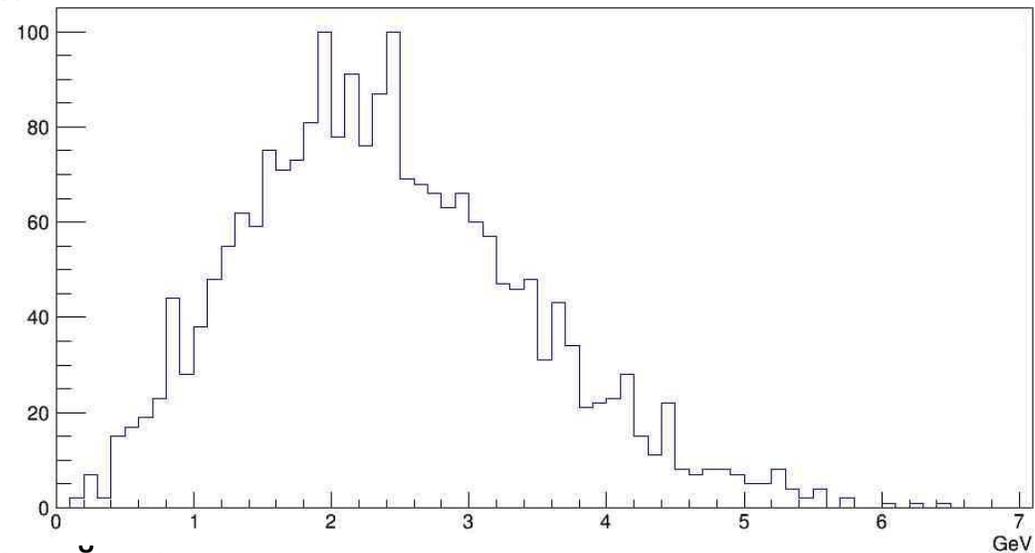
## Медленные частицы



## Медленные частицы

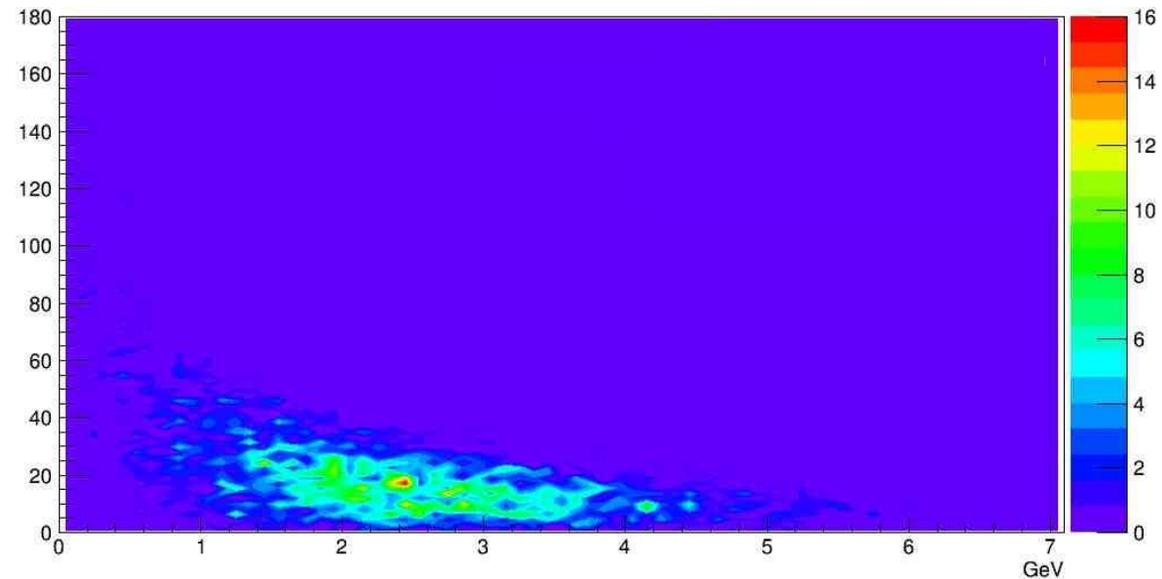


## Энергия

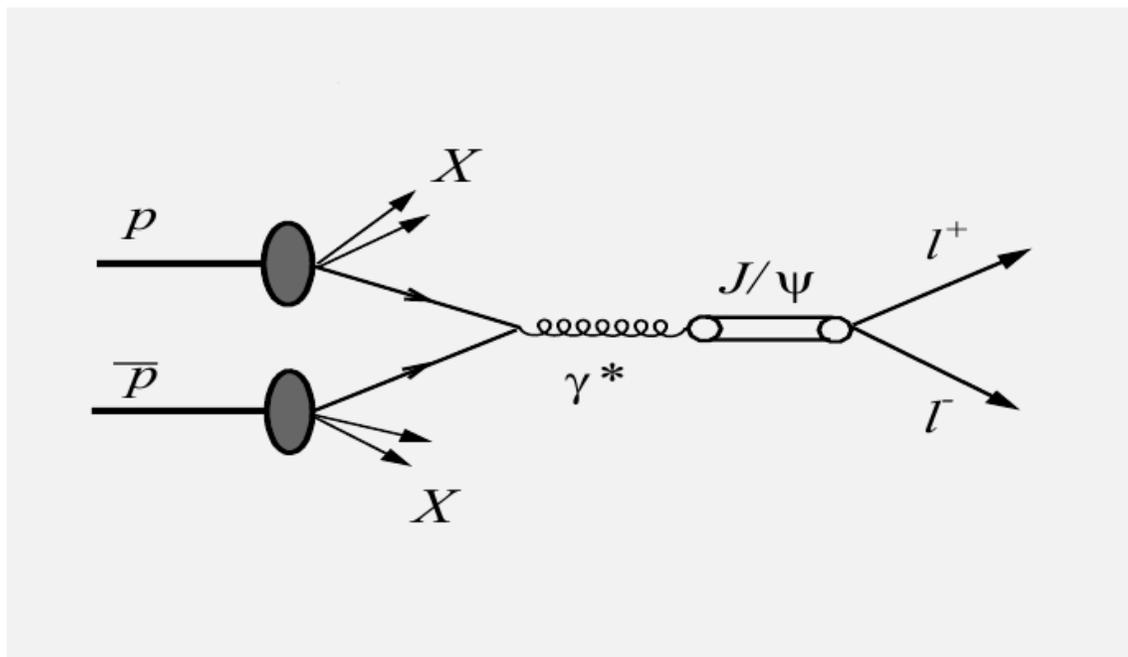


## Быстрые частицы

## Энергия – полярный угол



# Сигнал: резонансы

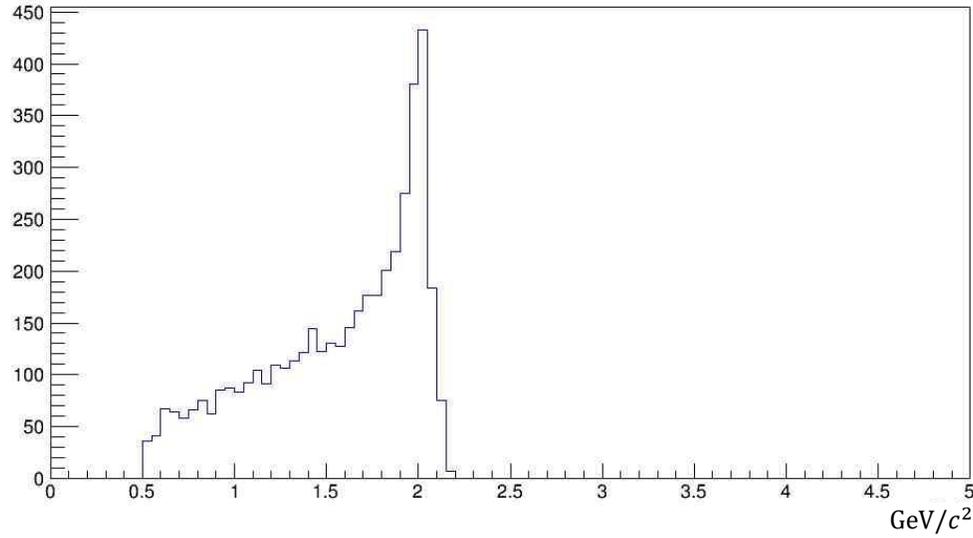


Диаграммы резонансов с  
наибольшим вкладом:

$$q_i \bar{q}_i \rightarrow \gamma^* \rightarrow c \bar{c} \rightarrow J/\Psi \rightarrow l^+ l^- + X$$
$$q \bar{q} \rightarrow c \bar{c} [{}^3S_1^{(8)}] g \rightarrow l^+ l^- + X$$
$$q \bar{q} \rightarrow c \bar{c} [{}^3P_J^{(8)}] g \rightarrow l^+ l^- + X$$

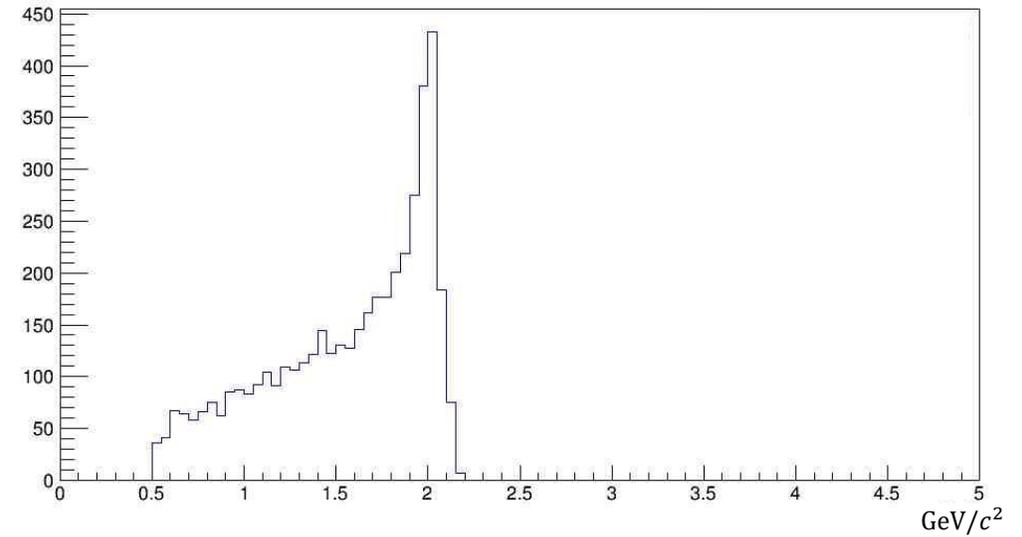
# Мюоны: резонансы

## Медленные частицы



## Поперечный импульс

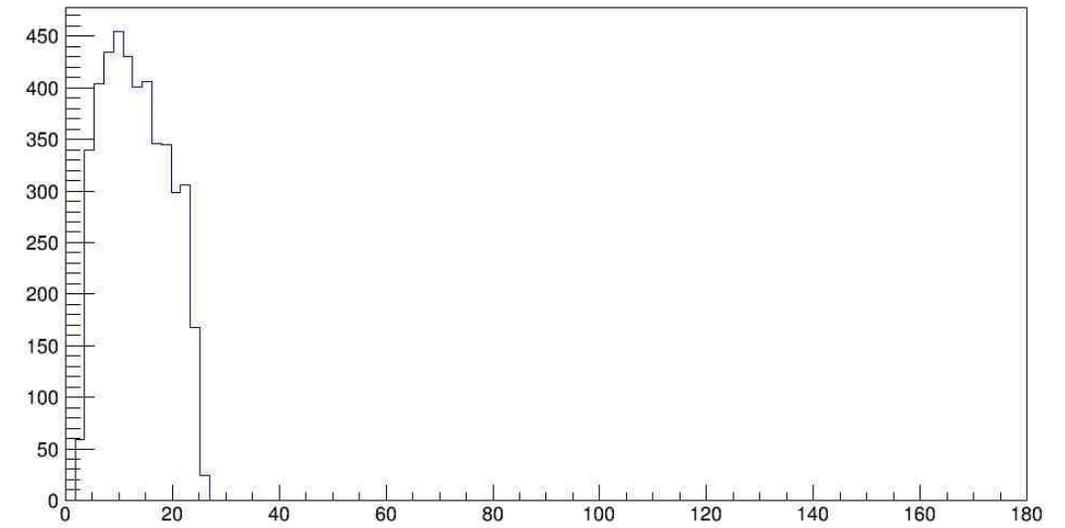
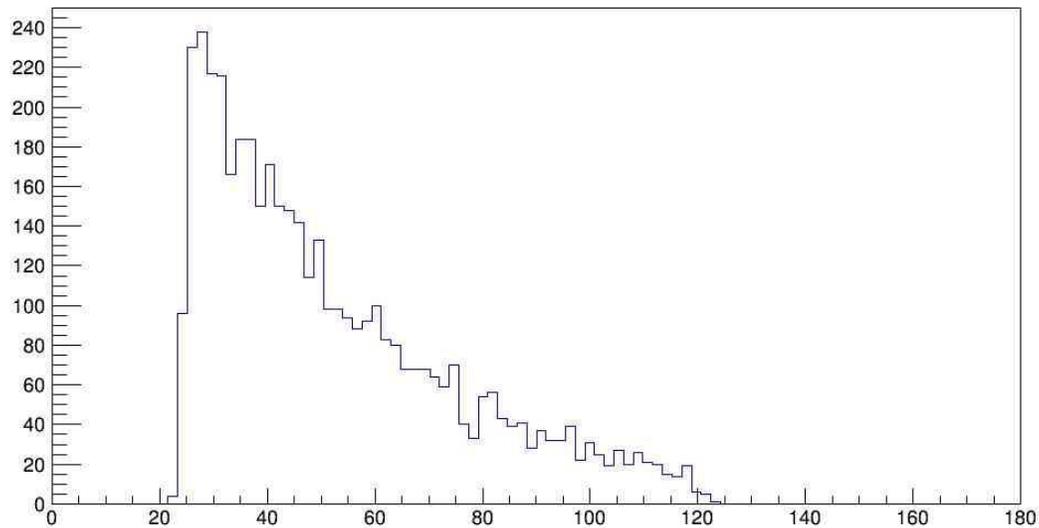
## Быстрые частицы



## Медленные частицы

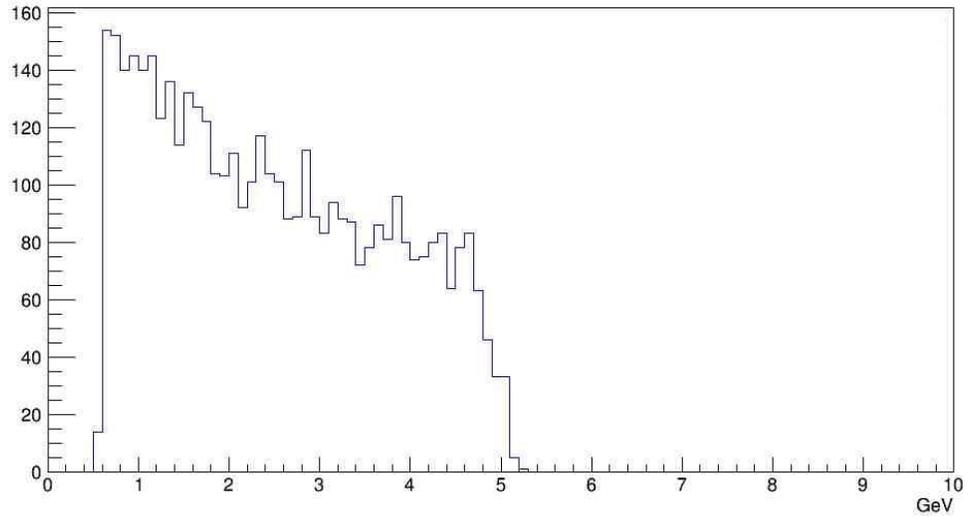
## Полярный угол

## Быстрые частицы

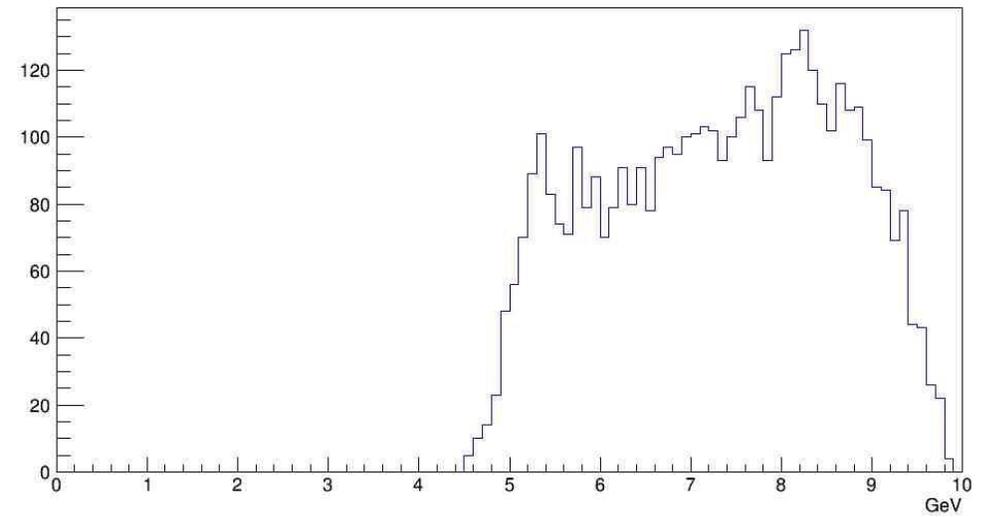


# Мюоны: резонансы

## Медленные частицы

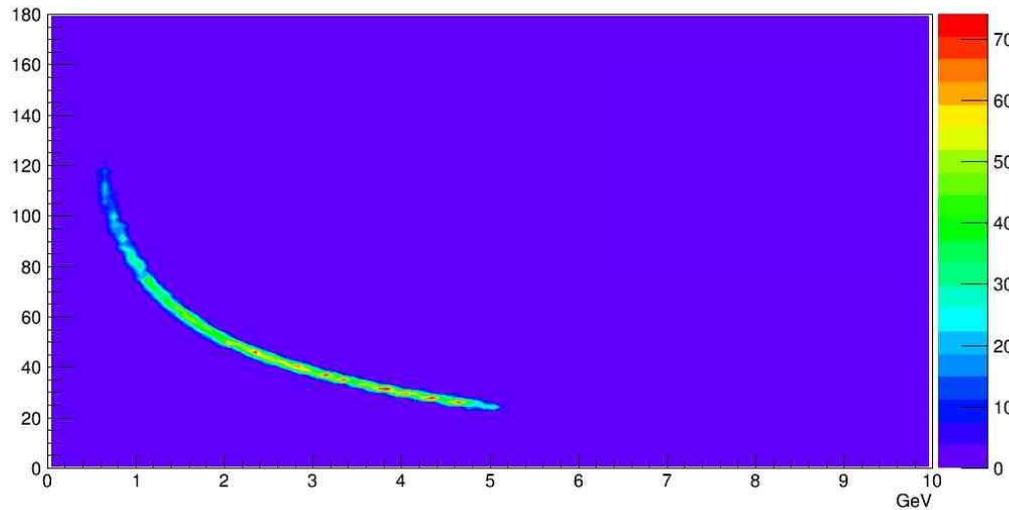


## Энергия



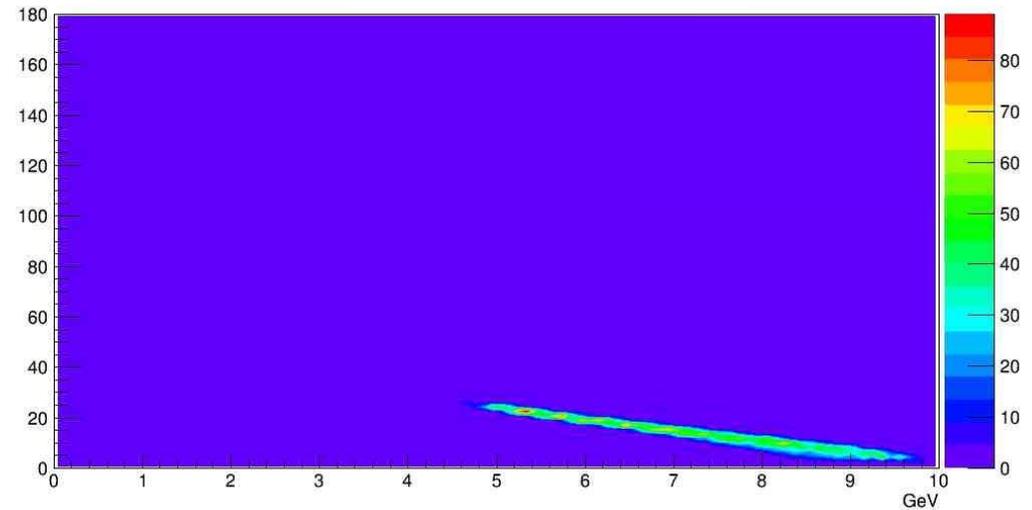
## Быстрые частицы

## Медленные частицы

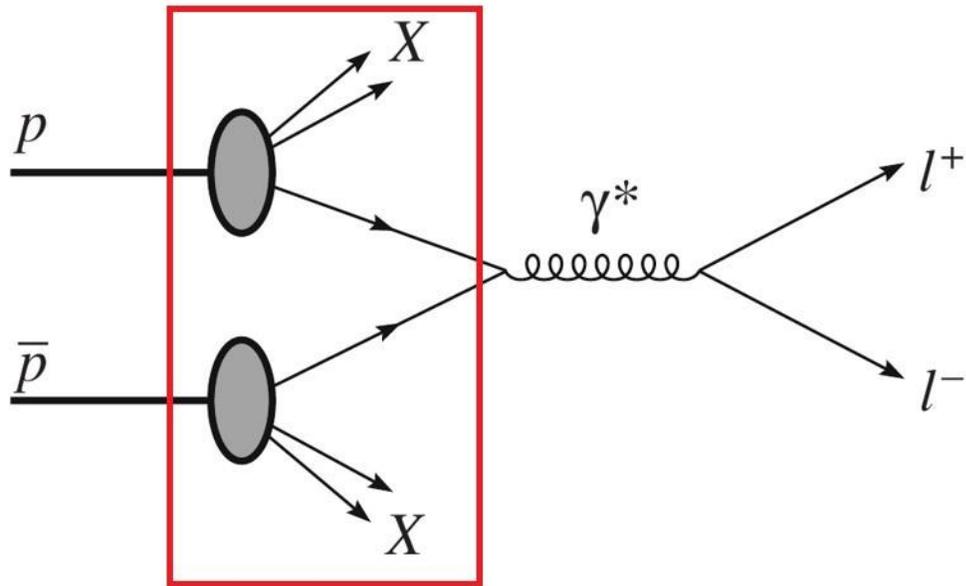


## Энергия – полярный угол

## Быстрые частицы



# ФОН



Появляющиеся адроны могут также распасться с рождением мюонов.

Необходимо учитывать процессы квантовой хромодинамики, в том числе minimum bias:

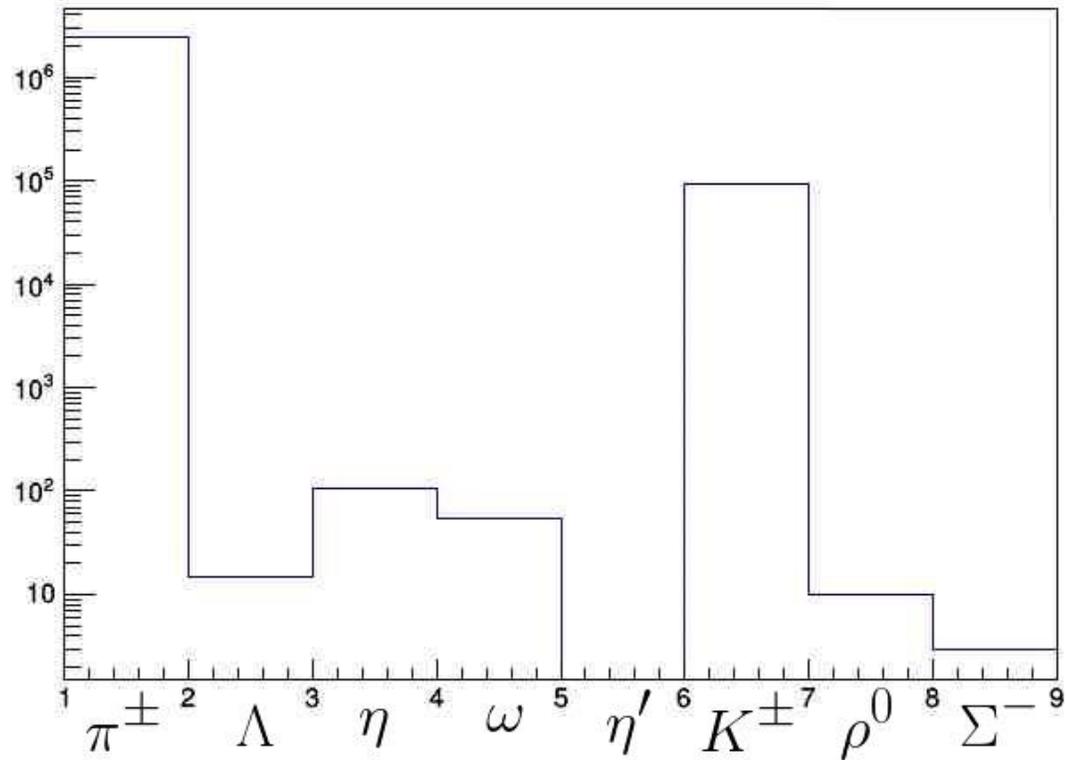
$$q + g \rightarrow q + g$$

$$g + g \rightarrow g + g$$

$$q + q' \rightarrow q + q'$$

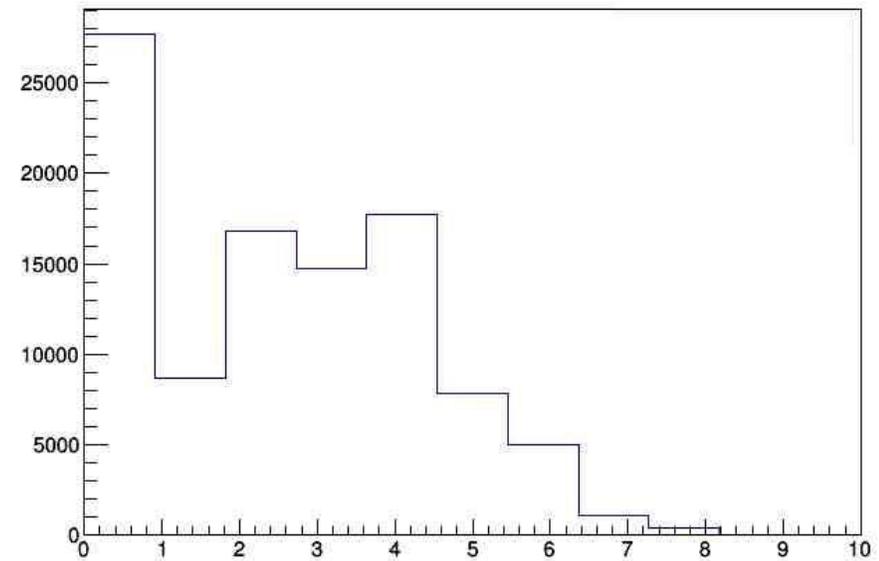
# Источники фона

Источники



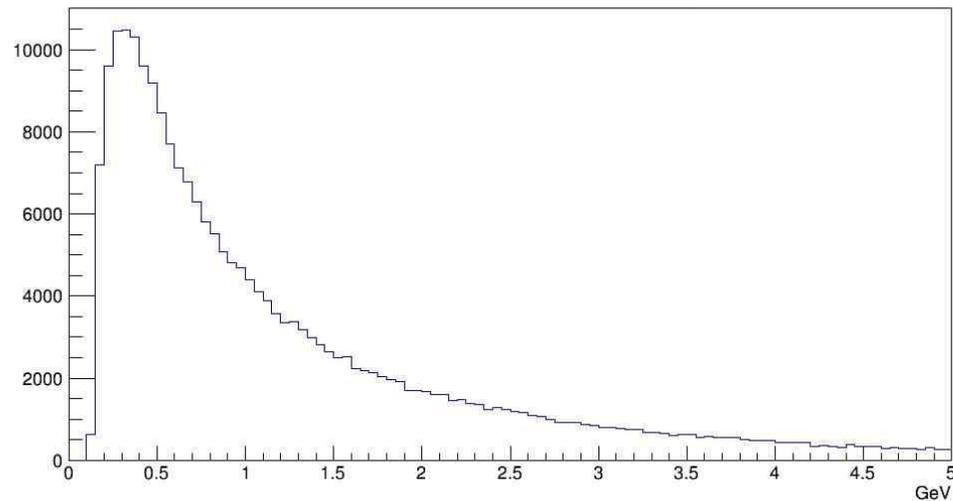
Среди множества источников основной вклад несёт заряженный пион.

Множественность пионов в событии

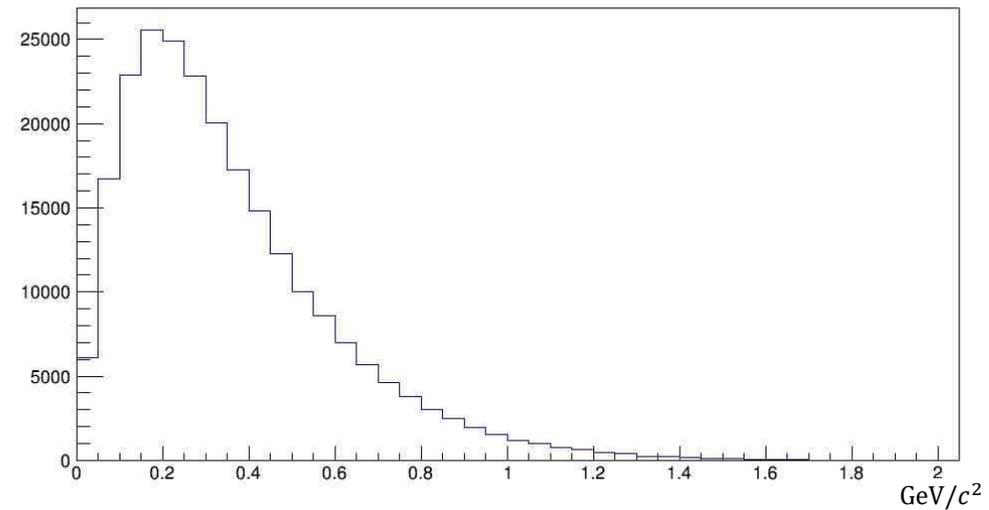


# Пионы

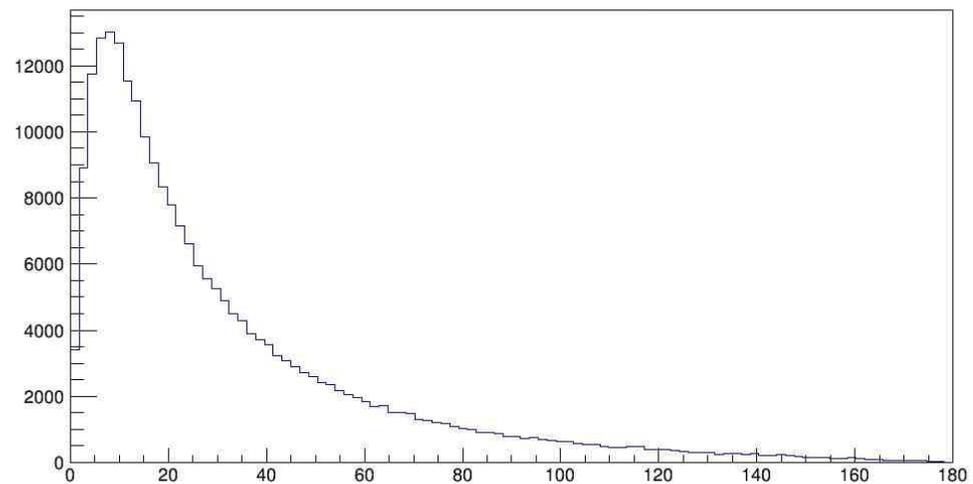
## Энергия



## Поперечный импульс

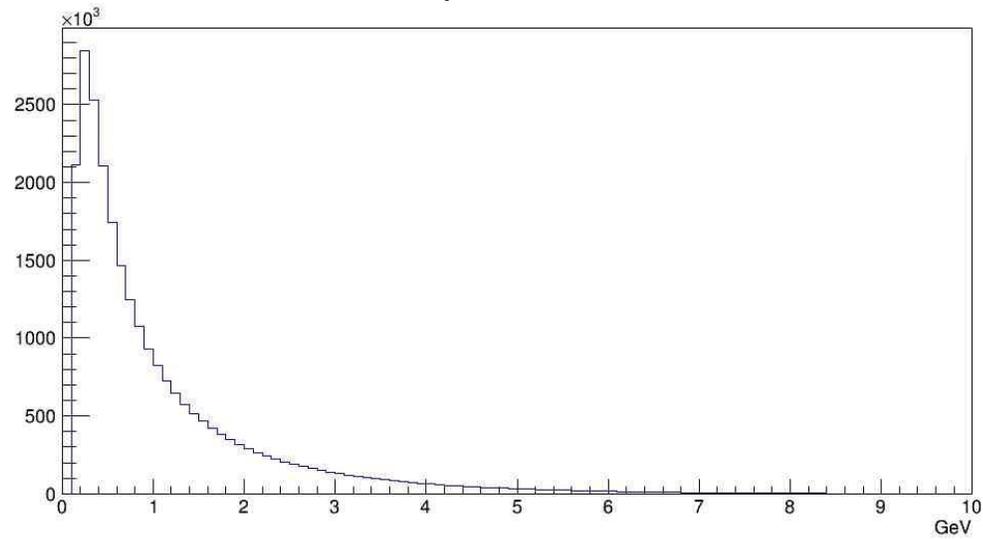


## Полярный угол

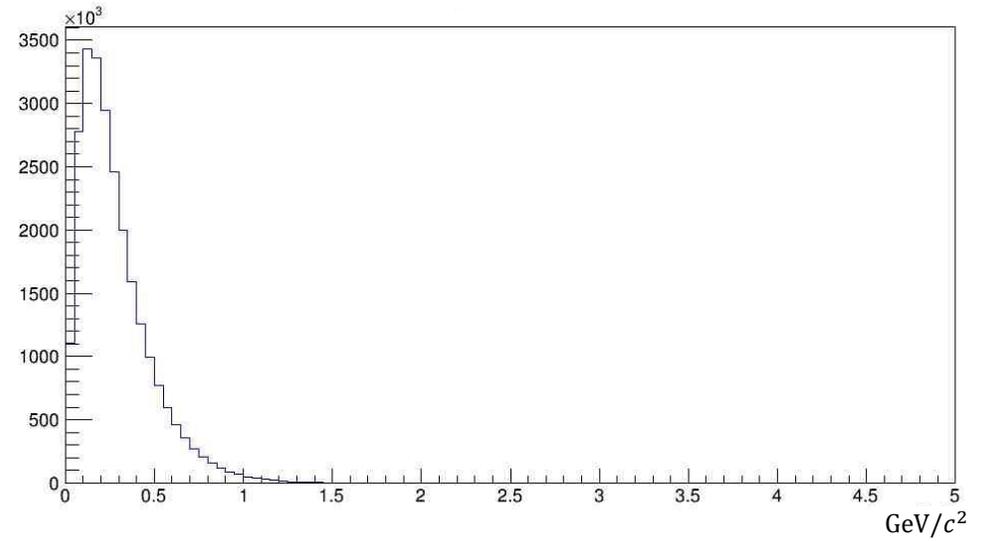


# Мюоны: фон

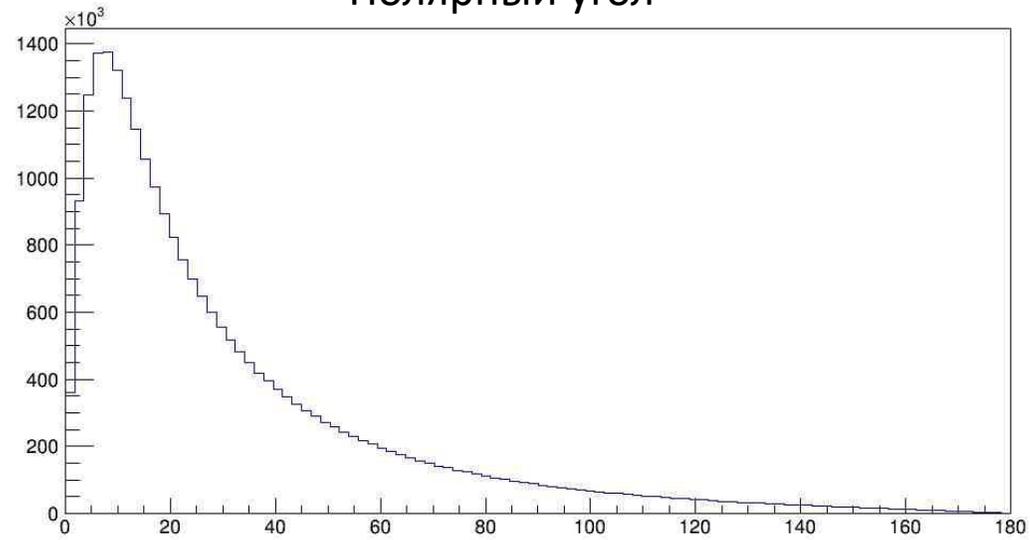
## Энергия



## Поперечный импульс

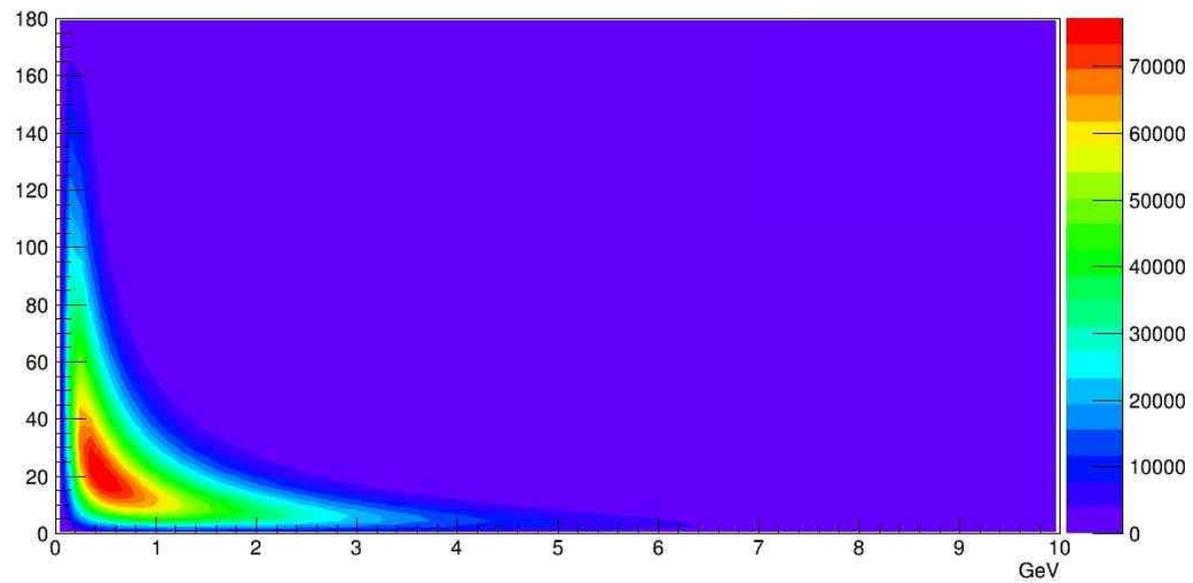


## Полярный угол

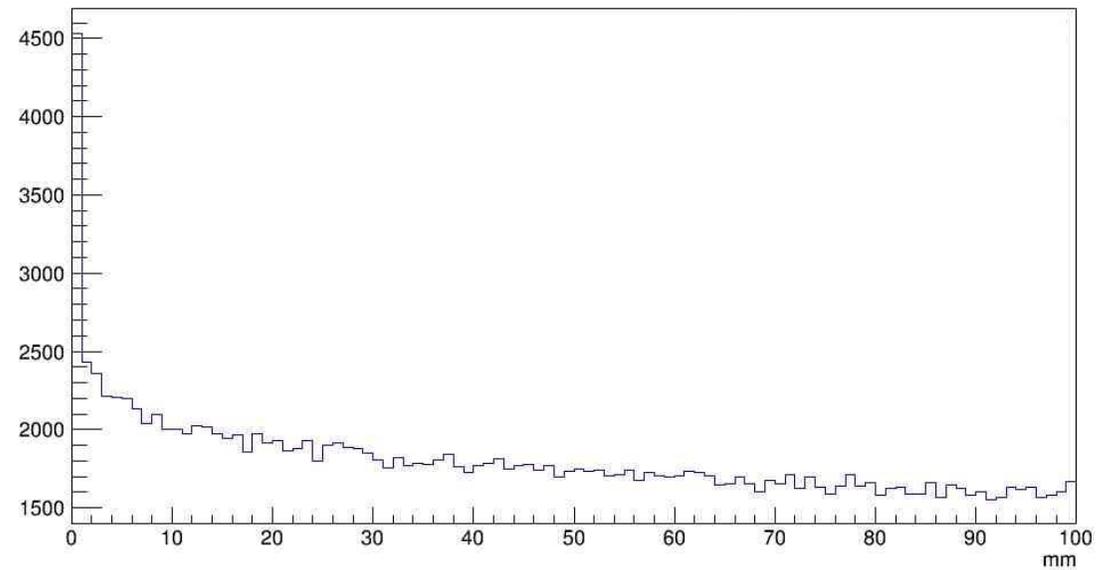


# Мюоны: фон

## Энергия – полярный угол



## Координата вершины



# Разделение сигнала и фона

---

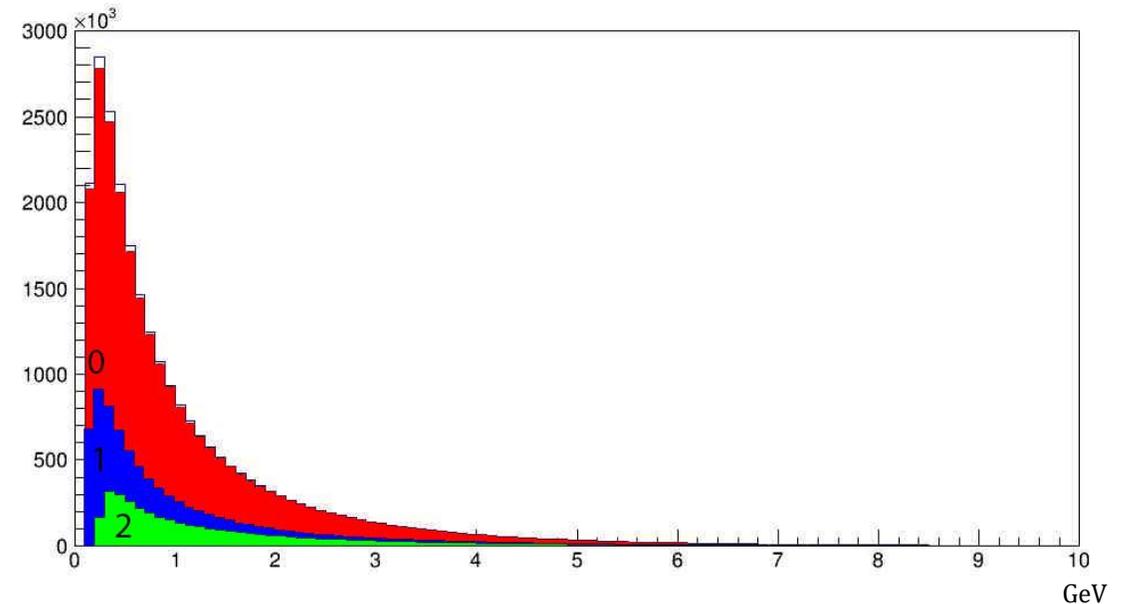
Используемые критерии отбора:

0. Число мюонов в событии – не менее 2;
1. Выбираются события с двумя мюонами с границами снизу на энергию (0.2 GeV) и поперечный импульс (0.2 GeV);
2. Мюоны должны обладать противоположными знаками зарядов;
3. Точка рождения мюонов должна находиться на расстоянии менее 15 mm от точки взаимодействия;
4. Инвариантная масса пары мюонов ограничена снизу (0.9 GeV);
5. Критерий изолированности мюонов: суммарная энергия всех частиц вокруг мюона в конусе радиуса 0.2 не должна превышать 0.5 GeV.

# Разделение сигнала и фона

Число используемых катов	Процент оставшихся событий (сигнал)	Процент оставшихся событий (фон)
1	84.5%	9.37%
2	83.2%	7.1%
3	82.8%	0.00027%
4	80.3%	0.000031%
5	76.2%	0%

Результат работы критериев отбора для фона



# Заключение

---

В ходе данной работы были получены необходимые распределения кинематических переменных для сигнальных и фоновых событий, а также некоторые другие.

Реализованы и показана эффективность критериев отбора для отделения сигнальных событий от фоновых (отдельно друг от друга).

Дальнейшая деятельность:

- Совместная обработка сигнала и фона (набор большой статистики)
- Моделирование процессов непосредственно в детекторе (PANDARoot)

Спасибо за внимание!

---



# ССЫЛКИ

---

V.A. Matveev, R.M. Muradian, A.N. Tavkhelidze, JINR P2-4543, JINR, Dubna, 1969; SLAC-TRANS-0098, JINR R2-4543, Jun 1969; 27p.

“Strong interaction studies with antiprotons. Letter of intent for PANDA (antiproton annihilations at Darmstadt)”. By PANDA Collaboration (M. Kotulla et al.). Jan 2004. 34pp. Electronic Version from a server EXP GSI-FAIR-PANDA

A.N.Skachkova, N.B.Skachkov, “Muon pair production in proton-antiproton interactions at intermediate energies”, [hep-ph/0412279](#), 2004